

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2011

Petra Navrátilová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy

Analýza absolutní nepřesnosti stacionárních průmyslových robotů v 2D úlohách

The Analysis of the Absolute Inaccuracy of Stationary Industry Robots in 2D Missions

Bakalářská práce

Autor:	Petra Navrátilová
Vedoucí práce:	Ing. Miroslav Holada, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Josef Černohorský, Ph.D.

V Liberci 19.5.2011

Originální zadání práce

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Tento prostor bych chtěla využít k poděkování svému vedoucímu práce za pomoc při realizaci a firmě EXACTEC za to, že mi umožnila měřit na robotu RX 160. V neposlední řadě děkuji svému příteli za pomoc při korektuře této práce a výrobu effectoru.

Abstrakt

Tato práce zkoumá velikost absolutní nepřesnosti tří stacionárních průmyslových robotů od firmy ABB a STÄUBLI při náhodném navádění do různých bodů v obecných 2D úlohách.

K tomuto účelu byly navrženy tři metody měření. Metoda pomocí ultrazvukového dálkoměru, která by byla příliš komplikovaná, a samotný ultrazvukový dálkoměr by zanášel do měření příliš velkou chybou. Metoda měření pomocí laserových dálkoměrů, která by byla příliš náročná na realizaci a konečně metoda pomocí kreslení, která byla zrealizována.

Metoda pomocí kreslení spočívala v namalování obrazců, pomocí předem navrženého kreslicího effectoru a následném vyhodnocení jednotlivých obrazců a robotů. Na základě tohoto měření je pak možno posoudit, zda-li by se jednotlivé roboty daly použít jako označovače výrobků sériovými čísly a využít v jiných aplikacích vyžadujících lineární pohyb ve 2D úlohách.

Klíčová slova: absolutní nepřesnost, opakovatelnost, 2D úloha

Abstract

This Bachelor's job investigates the magnitude of absolutny inaccuracies of the free stationary industrial robot make by ompany ABB and STÄUBLI during random navigation towards various points within common 2D co-ordinates.

The three measurement metod was proposed for this purpose. The first metod: Ultrasonic position transmitter is so difficult. The ultrasonic position transmitter create a great mistake. The second metod: Laser range finder is sophisticated in the implementation. And the trird metod: Draw was implemented.

The drawing method paint the figures with effector and data evaluation. After that we can say if the robots can be use for marking the products setial munbers or the using in other applications requiring of linear motion in 2D co-ordinates.

Key words: absolutny inaccuracies, repeatability, 2D mission

Obsah

Prohlášení	3
Poděkování	4
Abstrakt	5
Abstract	6
Obsah.....	7
1 Úvod	9
2 Výrobci průmyslových robotů	11
2.1 ABB	11
2.2 Mitsubishi Electric.....	11
2.3 MOTOMAN	12
2.4 FANUC Robotics Czech s. r. o.....	13
2.5 Neuronics AG	13
2.6 KUKA.....	14
2.7 STÄUBLI	14
2.8 Kawasaki	15
3 Kinematiky robotů.....	16
3.1 Sériová kinematika	16
3.1.1 Kartézský souřadný systém.....	16
3.1.2 Cylický souřadný systém	17
3.1.3 Sférický souřadný systém.....	17
3.1.4 Angulární souřadný systém	17
3.2 Paralelní kinematika	18
4 Vznik nepřesností	19
5 Varianty měření nepřesností.....	21
5.1 Měření pomocí ultrazvuku.....	21
5.2 Měření pomocí laseru	22

5.3	Měření pomocí kreslení	22
6	Transformace souřadnic	23
6.1	Transformace souřadnic pomocí Eulerových úhlů	23
6.2	Transformace souřadnic pomocí vektorové algebry	25
6.3	Program transformace.....	26
7	Měření	27
7.1	Konstrukce effectoru	27
7.2	Postup měření	28
7.3	IRB 1400.....	30
7.4	IRB 140.....	31
7.5	RX 160.....	32
7.6	Zhodnocení výsledků měření.....	33
8	Závěr a diskuse.....	34
	Použitá literatura	36
	Seznam obrázků	38
	Zdroje obrázků	39

1 Úvod

Roboty všeobecně mají dva druhy nepřesností. Standardně se udává nepřesnost při opakovaném navádění do daných bodů, neboli opakovatelnost. Tato nepřesnost bývá velice malá. Například u robota IRB 1600ID, používaného především na sváření, od firmy ABB je tato nepřesnost $\pm 0,05$ mm nebo u robota M-430iA/2PH [1], od firmy Fanuc používaného v potravinářském průmyslu, je to $\pm 0,5$ mm [2]. Tato hodnota nepřesnosti je pro nás použitelná, když robot vykonává neustále tu samou práci při stejných trajektoriích.

Oproti tomu v případě běžícího pásu, kde jsou předměty rozmístěny neuspořádaně, navádíme robota do různých pro robota předem neznámých souřadnic. Toto navádění probíhá pomocí kamerového, nebo jiného systému. Pak potřebujeme znát jinou přesnost, než je opakovatelnost a to přesnost při nájezdu do neznámého bodu. Nepřesnost navádění při nájezdu do neznámého bodu bývá vyšší. Většinou tento druh nepřesnosti není v katalogích uveden.

Cílem této práce je zjistit, jak velkou nepřesnost má robot při navádění do nových, pro něj předem neznámých, bodů ve 2D úlohách a posoudit tak, jestli by bylo možné pomocí průmyslových robotů provádět kreslení či frézování obrazců a nadpisů.

Takovýto robot by se pak mohl uplatnit v praxi například ve firmách, kde je potřeba označit výrobky sériovými čísly.

O slově robot

Zmínka prof. Chudoby o tom, jak se podle svědectví Oxfordského slovníku ujalo slovo robot a jeho odvozeniny v angličtině, mne upomíná na starý dluh. To slovo totiž nevymyslel autor hry RUR, nýbrž toliko je uvedl v život. Bylo to tak: v jedné nestřežené chvíli napadla řečeného autora látka na tu hru. I běžel s tím zatepla na svého bratra Josefa, malíře, který zrovna stál u štafle a maloval po plátně, až to šustělo.

"Ty, Josef," začal autor, "já bych měl myšlenku na hru."

"Jakou," bručel malíř (opravdu bručel, neboť držel přitom v ústech štětec).

Autor mu to řekl tak stručně, jak to šlo.

"Tak to napiš," děl malíř, aniž vyndal štětec z úst a přestal natírat plátno. Bylo to až urážlivě lhostejné.

"Ale já nevím," řekl autor, "jak mám ty umělé dělníky nazvat. Řekl bych jim laboři, ale připadá mně to nějak papírové."

"Tak jim řekni roboti," mumlal malíř se štětcem v ústech a maloval dál. A bylo to. Tím způsobem se tedy zrodilo slovo robot; budiž tímto přiřčeno svému skutečnému původci.

Karel Čapek, Lidové noviny, 24.12.33

Slovo robot bylo poprvé použito českým spisovatelem Karlem Čapkem v divadelní hře R.U.R (Rossum's Universal Robots). Toto slovo však poprvé nevyslovil on nýbrž jeho bratr Josef Čapek

2 Výrobci průmyslových robotů

V následujícím textu bude představeno několik firem, které vyrábějí průmyslové roboty.

2.1 ABB

Firma ABB je jedna z největších světových firem, poskytujících technologie pro energetiku a automatizaci. Nyní má okolo 124 000 zaměstnanců ve více než 100 zemích. České ABB bylo založeno v roce 1970 a má asi 2 900 zaměstnanců[4].

Jedním odvětvím sortimentu firmy ABB jsou průmyslové roboty, které pomáhají výrobcům v různých odvětvích zvýšit produktivitu práce, její přesnost a v neposlední řadě zvýšit bezpečí zaměstnanců. Roboty firmy ABB jsou konstruovány pro aplikace svařování, paletizaci, manipulaci, automatizaci kovacích lisů, lakování atd.

Například robot IBR 6660 (Obr. 3.1) je určen k velmi rychlé obsluze lisů [5].



Obr. 2-1 Robot IRB 6660

2.2 Mitsubishi Electric

Společnost Mitsubishi založil v roce 1870 Yataro Iwasaki, jako dopravní společnost. Firma prosperovala a rozrůstala se zakládáním nových divizí, až se z ní stala nadnárodní společnost.

Logo firmy Mitsibishi je těsně spjaté s jejím názvem, mistsu (tři) bishi (kámen, diamant), proto můžeme vidět na logu této firmy tři diamanty. Firma Mitsubishi tvrdí, že výrobky označené tímto logem znamenají světovou špičku a prvotřídní kvalitu.

Roboty MELFA od této firmy jsou rozděleny do tří řad. A to do řad RP, RH a RV. Řada RP jsou velice přesní scara roboti, určené pro sestavování hodinek, mobilních telefonů, atd., s uváděnou opakovatelností až $\pm 0,005$ mm. Řada RH jsou běžní scara roboti, určené pro paletizaci, třídění, instalaci a pokládání součástí, s uváděnou opakovatelností až $\pm 0,02$ mm.

V řadě RV je v nabídce jen jeden robot a to RV-2SDB (Obr. 3.1), který má 6 stupňů volnosti. Jeho výhodou je, že se může přidělat i na zeď nebo na strop. Jeho konstrukce umožňuje dosah efektoru těsně k jeho základně. Udávaná opakovatelnost je $\pm 0,02$ mm [6].

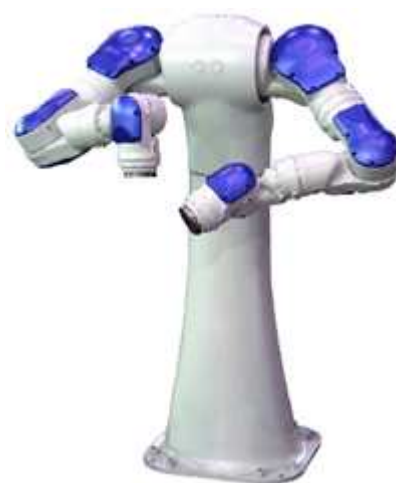


Obr. 2-2 Robot RV-2SDB

2.3 MOTOMAN

Již v roce 1976 začala firma MOTOMAN dodávat na evropský trh svařovací zařízení tehdy hlavně pro automobilový průmysl. Tato firma má po světě nainstalovaných více jak 200 000 robotů a proto se stala dodavatelem s velmi širokým výběrem pro různé aplikace. Tato firma vyrábí roboty s nosností od 2 Kg, kterou zastupuje pětiosý robot určený pro balení a manipulaci, do 500 Kg, které zastupuje čtyřosý paletizační robot EPL500 [7].

Jedna ze zajímavostí firmy MOTOMAN je robot SDA10D (Obr. 3.3), který nahrazuje lidské ruce. Tento robot má 15 os (7 os pro každou paži a k tomu rotaci v pase). Jeho nosnost je 2x10 Kg a opakovatelnost $\pm 0,1$ mm. Horizontální dosah jednoho ramene je 720 mm. Tento robot může pracovat oběma ramenama současně na jedné úloze, nebo je můžeme brát jako dva manipulátory a provádět nezávislé operace [8].



Obr. 2-3 Robot SDA10D

2.4 FANUC Robotics Czech s. r. o.

FUJITSU Fanuc byla založena roku 1956 jako pobočka FUJITSU LTD. Roku 1974 byl vyvinut první průmyslový robot. Tento robot byl nainstalován ve firmě FANUC. Pobočka FANUC Robotics Czech s. r. o. byla v České republice založena až roku 2004.

Firma FANUC vyrábí desítky robotů v několika řadách v různých provedeních pro mnoho účelů. Jednou z řad je Top Mount Robots, což jsou roboty montovány na kolejovou konstrukci. Tyto roboty jsou pak flexibilnější, mají větší pracovní rozsah. Mohou obsluhovat několik strojů najednou, čímž se velice snižují investiční náklady. Jejich udávaná opakovatelnost je od $\pm 0,07$ mm do 0,3 mm, což v některých aplikacích plně postačuje.

Řada M-1iA jsou roboty, které plně zastupují lidské zápěstí. Tyto roboty jsou určeny výhradně pro montáže elektrických a mechanických zařízení. V této řadě jsou jak roboty se čtyřmi stupni volnosti tak i roboti se šesti stupni volnosti. Udávaná opakovatelnost těchto robotů je $\pm 0,02$ mm. [9]



Obr. 2-4 LR Mate 200iC

2.5 Neuronics AG

Švýcarská firma Neuronics AG nabízí jediného robota a tím je robot KATANA (Obr. 3.5). Robot KATANA je malá inteligentní robotická ruka, která je bezpečná pro člověka, což znamená, že při jakémkoliv nárazu přeruší svojí činnost. Tento robot je schopen spolupracovat s člověkem. Jinak se využívá v aplikacích, kde je potřeba nahradit stereotypní lidskou práci nebo v prostředích pro člověka nebezpečných a škodlivých. Robot KATANA má udávanou opakovatelnost $\pm 0,1$ mm. [3]

Českým distributorem tohoto robota je firma EXACTEC.



Obr. 2-5 Robot KATANA

2.6 KUKA

Firma KUKA vyrábí nejrůznější druhy robotů. V jejich nabídce můžeme najít paletizátory, roboty pro čisté prostory, žáruvzdorné roboty... Jejich sortiment robotů je rozdělen do šesti kategorií. První čtyři jsou rozděleny podle hmotnosti, dále pak na drobnou robotiku a speciální konstrukce. Průmyslové roboty vyrábějí pro zátěž 5-1300 kg. Filosofii firmy KUKA je dnešní znalost toho, co budou jejich zákazníci chtít zítra. Tvrdí, že tvořivost, dynamičnost a inovace jsou pak klíčem k jejich ekonomickému úspěchu a přední pozici na světovém trhu. Příkladem robota od firmy KUKA je robot KR 6-2 (Obr. 3.6), který se perfektně hodí do omezených prostor. [10]



Obr. 2-6 Robot KR 6-2

2.7 STÄUBLI

Firma STÄUBLI zaměstnává více než 3000 pracovníků v třinácti výrobních závodech po celém světě. Ve 25 zemích má tato firma vlastní pobočky a v dalších více jak padesáti zemích je zastoupena jinými distributory. V České republice má firma STÄUBLI sídlo v Pardubicích.

Tato firma vyrábí jak malé roboty, tak i velké s maximální zatížeností až 250 kg. Tyto roboty se pak uplatňují v potravinářském průmyslu, v aplikacích pro balení, lakování a manipulaci. Robot TX90 (Obr 3.7) má zatížitelnost 7 kg a jeho použití je především pro manipulaci. Dosah zápěstí má jeden metr a jeho opakovatelnost je 0,03 mm. [11]



Obr. 2-7 Robot
TX90

2.8 Kawasaki

Kawasaki Heavy Industries (KHI) byla založena roku 1896 a zabývala se stavbou lodí. Dnes se KHI skládá z více jak 100 společností po celém světě, které dohromady tvoří přední průmyslovou a technologickou obchodní skupinu. Kawasaki Robotics patří mezi lídry v oblasti výroby této firmy, která má přes 100 000 nainstalovaných robotů po celém světě.

Tato firma vyrábí roboty se zatížením maximálně do 700 kg. Tyto roboty jsou pak používány v odvětví paletizace, bodového a obloukového svařování, řezání, manipulace s materiálem a mnoho jiných. Dále pak Kawasaki Robotics vyrábí roboty do čistých prostředí a pro různé speciální aplikace.

Ukázkou výrobku firmy Kawasaki může být robot FS06N (Obr.3.8) s užitečnou zatížitelností do šesti kilogramů a opakovatelností 0,1 mm. Tento robot je určen hlavně pro účely paletizace. [12]



Obr. 2-8 Robot FS06N

3 Kinematiky robotů

Dělíme dva základní druhy kinematik robotů a to sériovou a paralelní. 90% robotů je tvořeno kinematikou sériovou.

3.1 Sériová kinematika

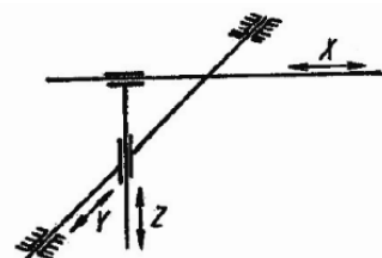
Základem sériové kinematiky je jeden kinematický řetězec, který je tvořen translačními a rotačními kinematickými dvojicemi. Přičemž pohyblivé uzly jsou ukládány ve směrech příslušných os klasického trojrozměrného souřadného systému. Tuto kinematiku má 90% průmyslových robotů a manipulátorů.

Výhodou této struktury je snadné ovládání a řízení, které je možno provést dvěma způsoby. Buď pomocí přímé programové úlohy, kdy nastavujeme natočení jednotlivých kloubů, nebo nepřímé úlohy, kdy zadáváme pozici koncového bodu. Dalšími výhodami této struktury je bezkolizní pracovní prostor a relativně jednoduchá konstrukce.

Velkou nevýhodou sériové kinematiky je suma chyb jednotlivých kinematických dvojic. Proto mají tyto roboty chybu přibližně 0,1 mm. Vůči paralelní kinematické struktuře mají roboty se sériovou kinematikou nízkou tuhost a unesou jen nízké procento své vlastní hmotnosti. [13]

3.1.1 Kartézský souřadný systém

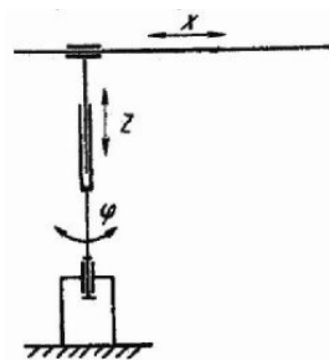
Kartézský souřadný systém (Obr.4.1) je tvořen třemi translacemi, značíme ho tedy TTT. Pracovní prostor robota s tímto systémem je hranol. Jeho nevýhodou je velká zastavěná plocha. Takto konstruovaní roboti se využívají jako různé podavače nebo jako obsluha k výrobním strojům a zařízením. [13]



Obr. 3-1 Kartézský souřadný systém

3.1.2 Cyldrický souřadný systém

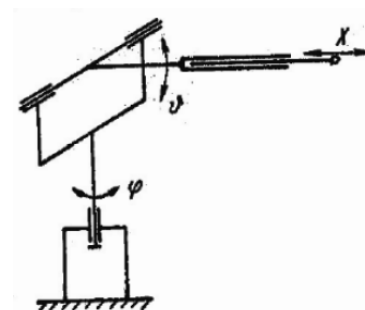
Robot s cylindrickým souřadným systémem je tvořen dvěma translacemi a rotací, TTR. Jeho pracovním prostorem je pak válcový prstenec, nebo jeho výseč. Takovýto systém se používá pro obsluhu vstřikovacích strojů. Když tento systém upravíme, tak nám vznikne konstrukce často používaných scara robotů [13]. Principiální schéma cylindrického souřadného systému můžeme vidět na Obr. 4.2.



Obr. 3-2 Cylindrický souřadný systém

3.1.3 Sférický souřadný systém

Sférický souřadný systém (Obr. 4.3) je tvořen jedním translačním a dvěma rotačními pohyby, TRR. Jeho výsledná pracovní plocha tvoří kulový prstenec. Tato konstrukce by mohla být použita ve svařovacích linkách. [13]

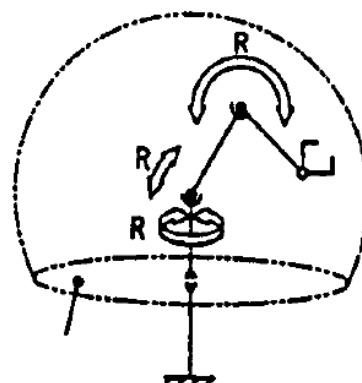


Obr. 3-3 Sférický souřadný systém

3.1.4 Angulární souřadný systém

Angulární souřadný systém (Obr. 4.4) je tvořen třemi rotačními pohyby, RRR. Pracovní plocha angulárního robota nebude část koule, jak by se na první pohled zdálo, ale obecný prostor, protože klouby robota nemůžeme ve skutečnosti natáčet o 360°. V dnešní době je tato konstrukce nejpoužívanější z důvodů nízké zastavěnosti plochy, relativně nižších nákladů na výrobu rotačních částí a v neposlední řadě z důvodu dobrých dynamických vlastností. Další výhodou tohoto uspořádání je snadné rozšíření pracovního prostoru přiděláním robota na pojezd.

Hlavní nevýhodou této struktury je nižší přesnost navádění s rostoucí délkou jednotlivých ramen. [13]



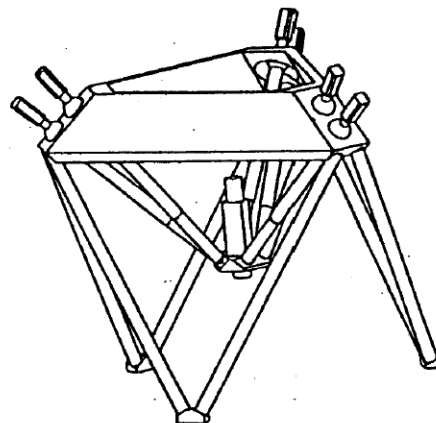
Obr. 3-4 Angulární souřadný systém

3.2 Paralelní kinematika

Paralelní kinematika je tvořena více než jedním kinematickým řetězcem. Tyto řetězce jsou vůči sobě řazeny paralelně. V této konstrukci se používá tři až šest vzpěr. Konstrukci se třemi vzpěrami nazýváme tripod a se šesti vzpěrami hexapod. Paralelní kinematika je v průmyslu zastoupena méně avšak s vývojem počítačové techniky se začala rozrůstat.

Jednou z největších předností paralelní kinematiky je vyšší tuhost a s tím související vyšší přesnost. Přesnost polohování paralelní kinematiky je přibližně desetkrát větší než u kinematiky sériové a to 0,01 mm. Další výhodou je poměr nosnosti ku vlastní hmotnosti, který bývá přibližně roven jedné. Konstrukce paralelní kinematiky není namáhána na ohyb, ale jen na tah a tlak.

Nevýhodou paralelní kinematiky je poměr celkového zastavěného prostoru a užitečného pracovního prostoru. Je také velice náročná na řízení a může zde vzniknout nepříjemná kolize vzpěr. [13]



Obr. 3-5 Princip konstrukce

4 Vznik nepřesností

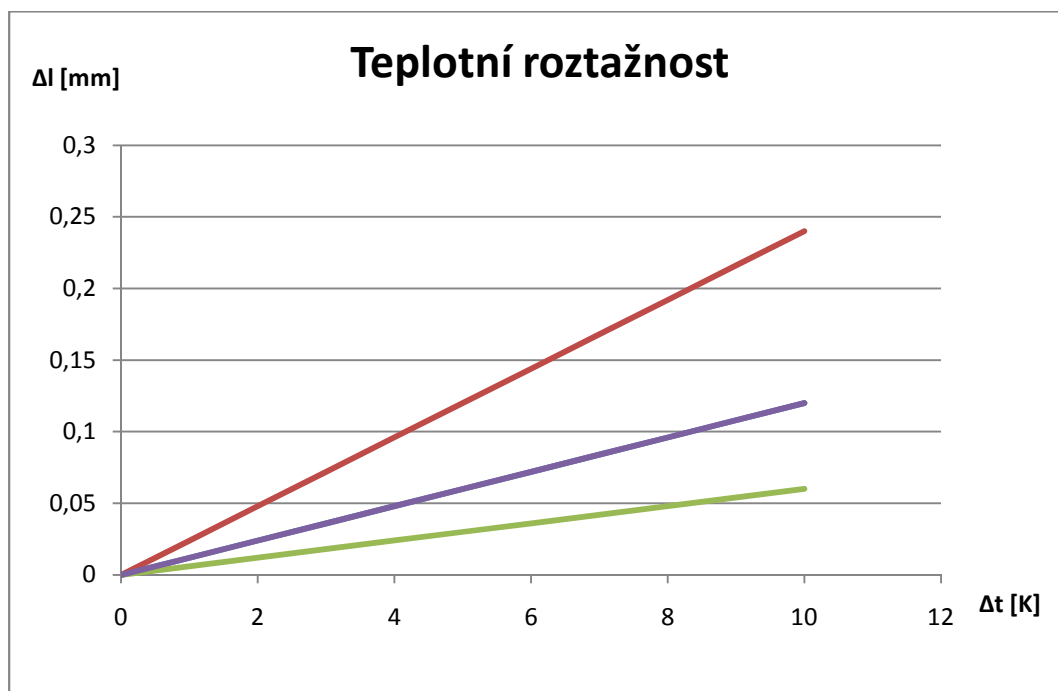
Jedním z aspektů vzniku nepřesností je teplotní roztažnost materiálu, což je jev, při kterém dochází k prodloužení materiálu o délku Δl při změně teploty o Δt . Změnu délky materiálu vypočteme ze vztahu 4.1

$$\Delta l = \alpha \Delta t l_0 \quad (4.1)$$

kde α je materiálová konstanta a l_0 je původní délka.

Na grafu 1 můžeme vidět čtyři závislosti $\Delta l = f(\Delta t)$. Červená závislost znázorňuje prodloužení hliníkového ramena o původní délce jeden metr. Zelená závislost znázorňuje železnou konstrukci ramene s původní délkou 0,5 m. A modrá závislost je znázornění prodloužení hliníkové konstrukce ramene o délce 0,5 m a zároveň prodloužení železného ramene o délce 1 m.

Z grafu 1 můžeme také vyčíst, že při extrémní změně teploty robota o 10 K může jedno rameno vytvořit chybu robota až o 0,24 mm. Za předpokladu, že robot bude mít takováto ramena tři, tak se tyto nepřesnosti sečtou a můžeme se dostat na chybu až 0,72 mm.



Graf 1 Závislost prodloužení materiálu na změně teploty

Červená přímka – Hliníkové rameno o délce 1 m

Modrá přímka – hliníkové rameno o délce 0,5 m a železné rameno o délce 1 m

Zelená přímka – železné rameno o délce 0,5 m

Dalším aspektem vzniku nepřesnosti může být tuhost/poddajnost konstrukce robota. Tuhost je fyzikální veličina charakterizována pro každé těleso, které je stlačitelné a je dána vztahem 4.2

$$k = F / \Delta l, \quad (4.2)$$

kde F je síla působící na těleso a Δl je prodloužení.

Nepřesnosti robota jsou také dány rozlišením jednotlivých snímačů a vůlemi v převodech. Dalším členem ovlivňující nepřesnost robota jsou jeho parametry a to úhly natočení jednotlivých kloubů a rozměry ramen.

5 Varianty měření nepřesností

Při úvaze, jak měřit absolutní nepřesnosti robotů, byly navrženy 3 varianty. Měření pomocí ultrazvuku, laseru, nebo pomocí malování.

5.1 Měření pomocí ultrazvuku

Ultrazvukové měření vzdálenosti je známé již od počátku devadesátých let dvacátého století. Tehdy to byl naprostý převrat, co se týče měření vzdálenosti. [15]

Ultrazvukový dálkoměr funguje na základě vysílače a detektoru ultrazvukových vln. V okamžiku, kdy chceme měřit vzdálenost, tak vyšleme ultrazvukový signál, a měříme čas, za který dojde signál k překážce, odrazí se a dorazí zpět do detektoru. Vzdálenost měřiče od překážky je pak vypočítána pomocí vztahu 5.1

$$s = v * t / 2 \quad (5.1)$$

kde v je rychlost šíření ultrazvukového signálu a t je čas, za který se signál vrátí. Tento vztah je vydělen dvěma, protože signál urazí vzdálenost k překážce dvakrát.

Praktické měření na robotovy by pak bylo zajištěno třemi ultrazvukovými dálkoměry a to pro každou osu zvlášť. Takže bychom měli jeden dálkoměr pro měření vzdálenosti osy x , jeden pro y a poslední pro z . Aby toto měření bylo možné realizovat, museli bychom mít robota uzavřeného v buňce.

Přednost této metody je možnost zjišťování absolutních nepřesností ve 3D úlohách. Nevýhodou je obtížná realizovatelnost buňky pro robota a nákladnost. Problém by také vznikl v tom případě, kdybychom chtěli měřit vzdálenost v blízkosti hrany buňky, protože ultrazvukové měřiče musí mít rovnou odrazovou plochu ve velikosti podstavy vyzařovacího kužele. Nepříjemným aspektem by také mohlo být to, že výstupem měření by nebyly souřadnice robota, ale vzdálenost od stěn buňky.

Měřicí rozsah dálkoměrů je udáván přibližně od 0,6 m. Proto bychom museli mít o tuto velikost větší buňku, než je robotův skutečný pracovní rozsah.

Udávaná chyba běžně dostupných dálkoměrů je 0,5% měřené vzdálenosti, což by nám na jednom metru měřené vzdálenosti mohlo způsobit chybu měření až pět milimetrů. Toto je hlavním důvodem, proč tato metoda nebyla zvolena. [16]

5.2 Měření pomocí laseru

Měření pomocí laserového dálkoměru se ukázalo být velice podobné jako měření pomocí ultrazvukového dálkoměru s tím, že má lepší vlastnosti měření.

Na měření pomocí laseru bychom opět potřebovali měřicí buňku (nyní však nemůže být z průhledných materiálů, protože by se nám paprsek laseru dostatečně neodrazil) a tři laserové měřiče pro jednotlivé osy.

Výhodou laserového měření pro naše účely je možnost měření od podstatně menších vzdáleností a to od 0,1 mm a malá odrazová plocha. Nepřesnost měřicího přístroje není již udávána v procentech měřené vzdálenosti, ale v milimetrech a pohybuje se okolo 1 mm. [14]

Důvodem, proč tuto variantu nerealizovat byly vysoké náklady a obtížná realizovatelnost měřicí buňky pro robota.

5.3 Měření pomocí kreslení

Měření pomocí kreslení spočívalo v namalování obrazců na kreslicí plochu a následném vyhodnocení.

Toto měření je výhodné, protože levné a snadno realizovatelné. Další výhodou je možnost sledování trajektorie daného robota, protože by se měl pohybovat pouze lineárně. A v neposlední řadě je dobré, že jsme mohli fyzicky sledovat pohyb robota při jeho navádění. Nevýhodou tohoto měření je možnost měřit pouze 2D úlohy.

Aby se tato metoda mohla realizovat, tak bylo nutné vytvořit transformaci pro snadné zadávání souřadnic pro kreslení a také musel být vytvořen effector, který by byl schopen malovat i na nerovném povrchu.

6 Transformace souřadnic

Pro snadné malování obrázků ve 2D úlohách bylo potřeba vytvořit transformaci souřadnic. Tuto transformaci budeme zadávat pomocí 3 bodů, pomocí ručního ovládání robota. První bod, který se robotovi zadá, bude posun P . Druhý bod M nám pak určí směr osy x_1 a třetí bod N bude v rovině x_1y_1 . Osa z_1 pak bude kolmá k rovině x_1y_1 .

6.1 Transformace souřadnic pomocí Eulerových úhlů

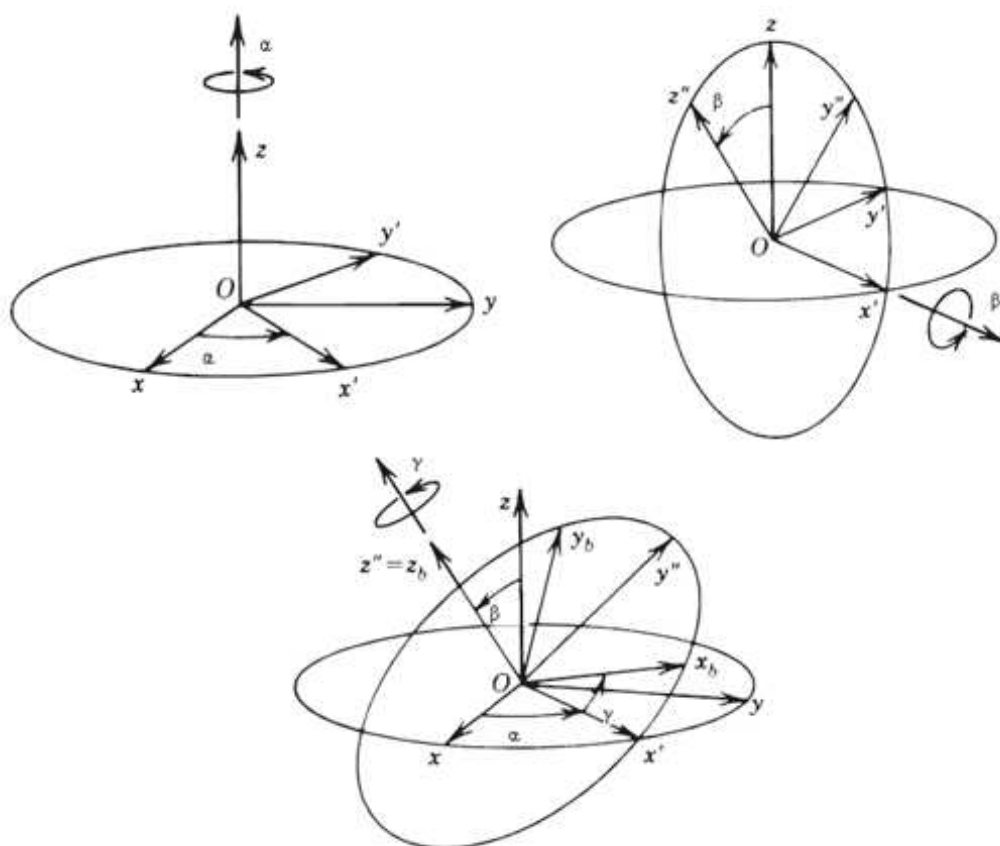
Transformace souřadnic je dána vztahem 6.1

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{0,1} & d_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

kde p_0 jsou staré souřadnice bodu a p_1 jsou nové souřadnice. [17] Posunutí d_0 je dáno vztahem 6.2

$$d_0 = (P_1, P_2, P_3)^T. \quad (6.2)$$

Pro tento případ transformace byla použita rotace ZXZ, která je znázorněna na Obr. 7.1.



Obr. 6-1 Znázornění natáčení pomocí transformace ZXZ

Matice rotace 6.3 je pak dána součinem jednotlivých rotací

$$R_{0,1} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6.3)$$

kde úhly α , β a γ jsou tzv. Eulerovy úhly. Rotace se tedy skládá ze tří částí. Nejprve rotujeme kolem osy z_0 o úhel α , poté rotujeme okolo již pootočené osy x_a o úhel β a nakonec kolem osy z_b o úhel γ .

Nyní posuneme nový systém o P tak, aby starý a nový počátek leželi v témže bodě a abychom mohli určit úhly rotace. Označíme si $A = M - P$ a $B = N - P$. Staré souřadnicové osy budeme značit jako x_0, y_0, z_0 a již posunuté budeme značit jako x_1, y_1, z_1 . Jejich vektory pak budeme značit $\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0, \mathbf{z}_0, \mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1, \mathbf{z}_1$.

Vektor $\mathbf{z}_1$ je kolmý na rovinu x_1y_1 , která je určena body $A = [A_1, A_2, A_3]$, $B = [B_1, B_2, B_3]$ a počátkem O . rovina x_1y_1 je tedy určena $\mathbf{a} = A - O = (A_1, A_2, A_3)$ a $\mathbf{b} = B - O = (B_1, B_2, B_3)$. Vektor kolmý ke dvěma vektorům určíme pomocí vektorového součinu a proto pro vektor $\mathbf{z}_1$ platí $\mathbf{z}_1 = \mathbf{a} \times \mathbf{b}$.

Nyní určíme vektor $\mathbf{x}_a$ určující osu x_a . Tato osa je přímkou, která je průnikem rovin x_0y_0 a x_1y_1 a je to tedy přímkou kolmou na osy z_0 a z_1 . Tedy $\mathbf{x}_a = \mathbf{z}_0 \times \mathbf{z}_1$.

Úhel α je úhel, který svírají vektory $\mathbf{x}_0 = (1, 0, 0)$ a $\mathbf{x}_a$

$$\cos\alpha = \frac{\mathbf{x}_0 \mathbf{x}_a}{\|\mathbf{x}_0\| \|\mathbf{x}_a\|} \quad (6.4)$$

Úhel β je úhel, který svírají vektory $\mathbf{z}_0 = (0, 0, 1)$ a $\mathbf{z}_1$

$$\cos\beta = \frac{\mathbf{z}_0 \mathbf{z}_1}{\|\mathbf{z}_0\| \|\mathbf{z}_1\|} \quad (6.5)$$

Úhel γ je úhel, který svírají vektory $\mathbf{x}_1$ a $\mathbf{x}_a$

$$\cos\gamma = \frac{\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_a}{\|\mathbf{x}_1\| \|\mathbf{x}_a\|} \quad (6.4)$$

Již jsou spočtené cosiny úhlů. Do matice rotace však potřebujeme i siny těchto úhlů, které vypočteme ze vztahů 6.6, 6.7 a 6.8.

$$\sin\alpha = \sqrt{1 - \cos^2\alpha} \quad (6.6)$$

$$\sin\beta = \sqrt{1 - \cos^2\beta} \quad (6.7)$$

$$\sin\gamma = \sqrt{1 - \cos^2\gamma} \quad (6.8)$$

Nyní stačí jen dosazovat do vztahu 6.1 a posílat do robota souřadnice.

6.2 Transformace souřadnic pomocí vektorové algebry

Každá rovina lze zapsat pomocí parametrického nebo neparametrického vyjádření. Kde parametrické vyjádření má tvar 6.9

$$a_1 + ts_1 + rs_2 = b, \quad (6.9)$$

kde a_1 je vektor posunutí, t a r jsou reálná čísla a s_1 a s_2 jsou vektory určující rovinu, a neparametrické vyjádření je dáno vztahem 6.10

$$ax + by + cz = d, \quad (6.10)$$

kde a, b, c, d jsou reálná čísla.

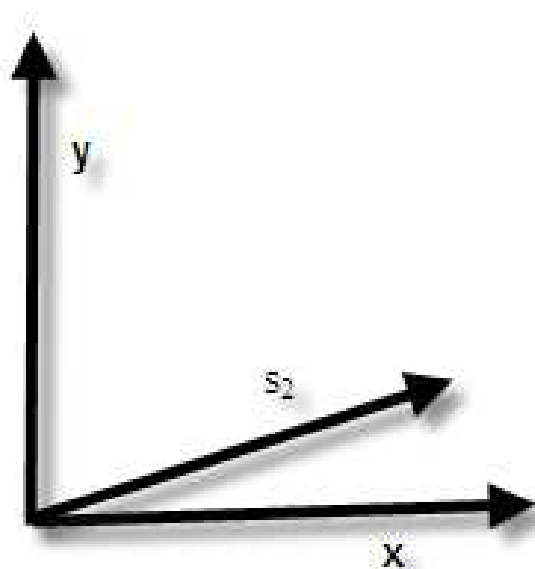
Budeme opět předpokládat 3 body, pomocí kterých budeme moci zadat lokální souřadný systém. Pomocí bodu P (posunutí) a M si vypočteme vektor s_1 (6.11), který bude směřovat od počátku ve směru osy x .

$$s_1 = M - P \quad (6.11)$$

Obdobně si vypočteme i vektor s_2 , (6.12) určující rovinu.

$$s_2 = N - P \quad (6.12)$$

V tomto okamžiku máme určenou osu x vektorem s_1 a rovinu danou vektory s_1 a s_2 . Osa y (6.13) bude kolmá na osu x a její kladný směr bude v polorovině, kde leží vektor s_2 , jak je to vidět na Obr. 6.2.



Obr. 6-2 Znázornění kladného směru osy y

$$y = s_2 - \frac{s_1 s_2}{s_1 s_1} s_1 \quad (6.13)$$

Osa z bude kolmá na rovinu xy a proto bude dána vektorovým součinem jejich vektorů. Nyní se nabízí možnost pravotočivého, či levotočivého souřadného systému. Byl vybrán pravotočivý systém, protože je v technice více upřednostňován. Osa z je pak dána vztahem (6.14)

$$z = x \times y \quad (6.14)$$

V této chvíli máme vektory, které nám určují osy x, y i z. Je nutné spočítat jejich jednotkové vektory (6.15, 6.16 a 6.17), abychom se při zadávání souřadnic robotovi mohli pohybovat v jeho standardních jednotkách.

$$x_0 = \frac{x}{\|x\|} \quad (6.15)$$

$$y_0 = \frac{y}{\|y\|} \quad (6.16)$$

$$z_0 = \frac{z}{\|z\|} \quad (6.17)$$

Přepočet z lokálních souřadnic do globálních je dán vztahem (6.18).

$$B = x_a x_0 + y_a y_0 + P \quad (6.18)$$

kde x_a , y_a jsou souřadnice bodu v lokálním souřadném systému a P je posun.

Protože při malování obrazců potřebujeme tužku i zvednout je zapotřebí zavést do přepočtu souřadnic také osu z. Proto výsledný vztah přepočtu je 6.19.

$$B = x_a x_0 + y_a y_0 + z_a z_0 + P \quad (6.19)$$

6.3 Program transformace

Aby robot mohl využívat transformaci souřadnic, tak musel být vytvořen program, který tuto transformaci umožní. Program byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual Studio 2008. K transformaci souřadnic byl vybrán způsob pomocí vektorové algebry, protože je složen z méně výpočtů a nepoužívají se v něm funkce sinus a kosinus. Každý výpočet totiž představuje určitou zaokrouhlovací chybu, zvláště pak u násobení několika hodnot s velkými počty míst.

7 Měření

Měření na robotech spočívalo v namalování obrazce robotem a následném vyhodnocení jeho činnosti. S roboty se malovalo v 2D úlohách, které nebyly v souladu s robotovým souřadným systémem. Je důležité také poznamenat, že v průběhu měření robot vykonával pouze lineární pohyby.

Pro komunikaci s robotem byl použit připravený program získaný z pracoviště školy. Tento program byl pouze upraven pro účely měření a to hlavně vložení transformace souřadnic. Dále byly přidány prvky pro snazší ovládání robota. Jeho posun se nyní dá ovládat pomocí klávesnice. Není tedy již nutno odhadovat souřadnice pozice, kam jsme chtěli robota navést, ale stačilo postupně navádět robota pomocí kláves označujících kladný a záporný směr jednotlivých os.

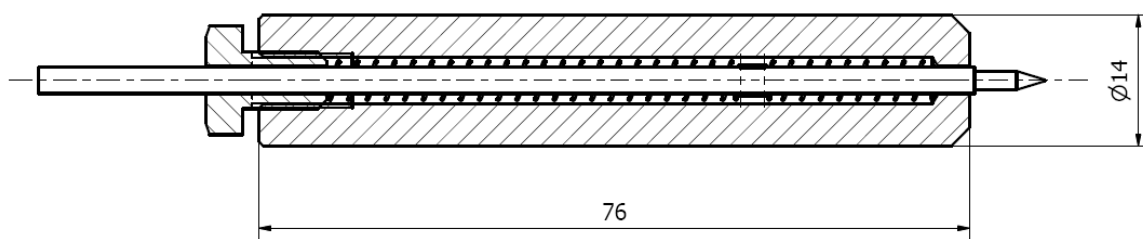
7.1 Konstrukce effectoru

Pro malování bylo potřeba vytvořit effector, který splňuje několik požadavků. Musí být snadno upnutelný do robota. Tuha v něm musí pružit a nakonec, tuha musí být snadno vyměnitelná. Tyto požadavky byly úspěšně splněny v konečné konstrukci effectoru znázorněné na Obr. 7.1.



Obr. 7-1 Model effectoru

Takto zkonstruovaný effector je složen z pěti částí a to ze dvou vinutých pružin, náplně, šroubu a těla. Výkres můžeme vidět na Obr. 7.2.

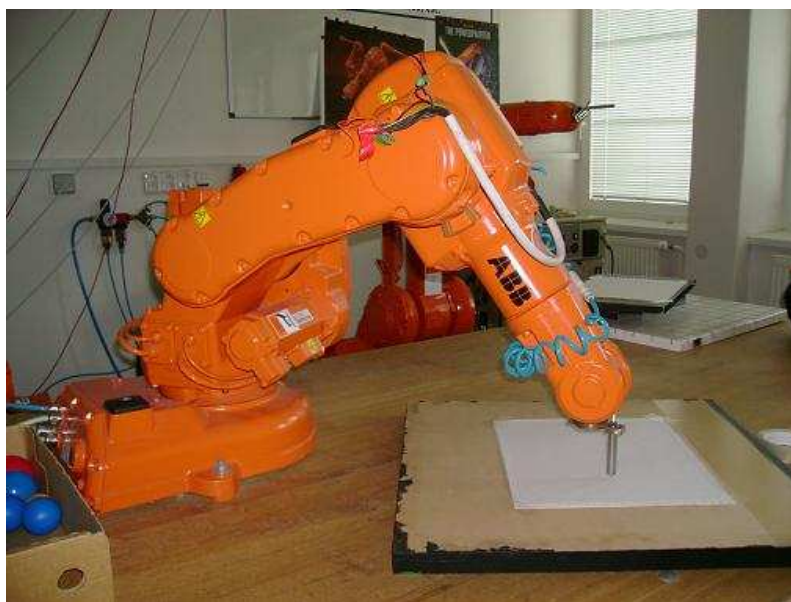


Obr. 7-2 Výkres effectoru

Effector nyní můžeme upnout do svěrného spoje a připevnit k robotu pomocí dvou šroubů.

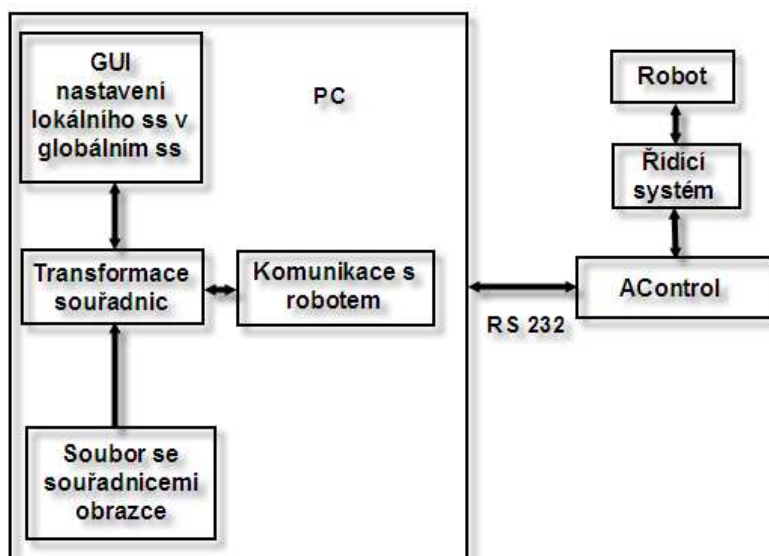
7.2 Postup měření

Po zapnutí robota a připojení se k němu s počítačem bylo potřeba ho manuálně navést ke kreslicí ploše tak, aby effector a kreslicí plocha byly na sebe kolmé (Obr. 7.3), to se muselo provést, abychom do měření nevnášeli chybu. Tento krok byl prováděn v ručním režimu robota. Poté byl spuštěn program v robotu komunikující s druhou částí v počítači. Robot byl přepnut do automatického režimu a zapnuly se motory. Následovalo navedení robota do některého z rohů kreslicí plochy pomocí klávesového ovládání os. Když byl robot v této pozici, tak se v programu nastavil počátek nového souřadného systému.



Obr. 7-3 Kreslicí robot

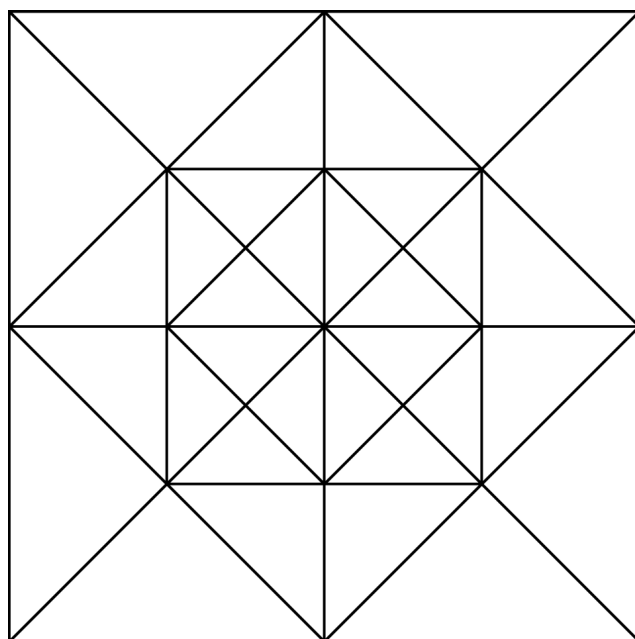
Dalším krokem bylo nastavit směr osy x. Protože musíme mít pravotočivý souřadný systém, tak osa x musí směřovat doprava (za předpokladu, že máme počátek souřadného systému nastaven v levém dolním rohu kreslicí plochy).



Obr. 7-4 Schéma datových toků

Nakonec najedeme s robotem do libovolného bodu (nad osou x) a určíme tak rovinu, na níž můžeme kreslit.

Nyní už můžeme z programu spustit soubor, ve kterém máme uložené souřadnice, po kterých se má robot pohybovat tak, aby namaloval obrazec na Obr. 7.5.



Obr. 7-5 Znázornění obrazce

Na Obr 7.4 vidíme schéma znázorňující Tok veškerých dat.

Obrazec na Obr. 7.5 byl takto zvolen aby co nejvíce vypovídal o tom, jak je daný robot přesný, či nepřesný.

Na každém takto namalovaném obrazci byly přeměřeny délky stran čtverců i jejich úhlopříček. Dále byly měřeny velikosti úhlů a v neposlední řadě bylo zkontrolováno, zda-li se dané úsečky protínají ve správných bodech. Dále byly obrazce přeloženy přes sebe a bylo kontrolováno, jestli se obrazce liší v různých polohách kreslicí plochy.

Nakonec se zkontroluje, zda-li je dobře namalován největší čtverec, protože jako jediný byl namalován dvakrát a to pokaždé z jiného směru.

Délka strany největšího čtverce je 28 cm a v následujícím textu je označován jako čtverec číslo 1. Menší čtverec je označen číslem 2 a takto číslování pokračuje až do čtyřky.

7.3 IRB 1400

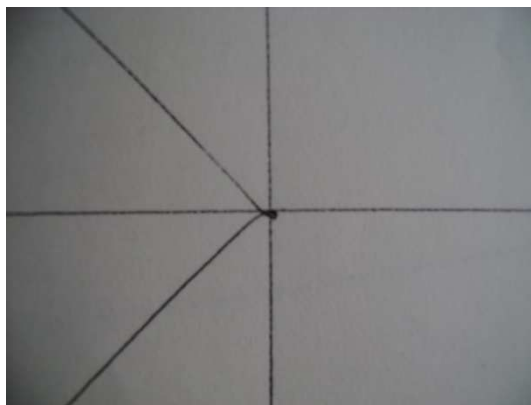
IRB 1400 je šestiosý robot od firmy ABB. Tento robot má dosah 1,44 m a jeho vlastní hmotnost je 225 kg. Tento robot se využívá v oblasti obloukového svařování, pro manipulaci s materiálem a pro jiné procesní aplikace s užitečnou hmotností 5 kg. Jeho opakovatelnost je $\pm 0,05$ mm.

U tohoto robota bylo namalováno celkem devět obrazců v pěti obecných 2D úlohách. Níže budou uvedeny nepřesnosti jednotlivých obrazců, které jsou číslovány. První číslo ukazuje na číslo polohy a druhé číslo je číslo obrazce v dané poloze.

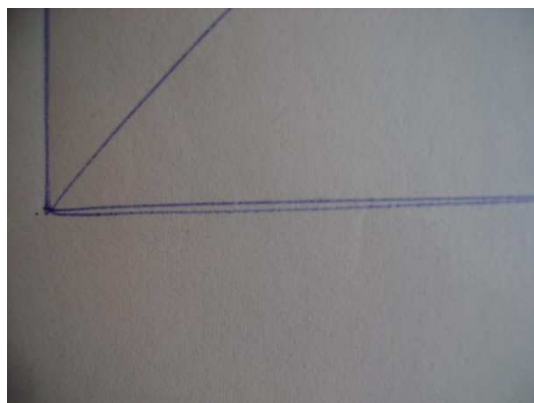
Na obrazci 0.1 můžeme vidět zdvojené čáry u největšího čtverce s odchylkou až 1 mm. Body setkání jednotlivých čar jsou v pořádku. Další chybou obrazce jsou opakující se kličky (Obr. 7.6) v místech, kde robot měnil směr kreslení.

Obrazec 1.1 má opět u největšího čtverce zdvojenou čáru s odchylkou až 1 mm, ale tentokrát je toto zdvojení zřetelné pouze v prvních čtyřech centimetrech čáry, poté se vrací do správné dráhy. Ve dvou protilehlých rozích je odchylka 1 mm. Na dalším obrazci (1.2), který je namalován ve shodné poloze, jako obrazec 1.1 jsou totožné chyby.

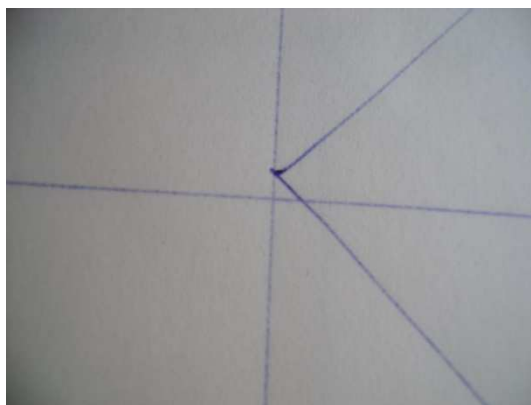
Obrazec 2.1 má dvě zdvojené strany (Obr. 7.7) u největšího čtverce na délce dvaceti centimetrů s odchylkou 1,5 mm. Čtverec 2 je pak celý posunut o 3 mm níže (Obr. 7.8), avšak jeho úhlopříčka je namalována správně. Čtverec 3 je pak posunut o 1 mm vůči čtverci 2 a taktéž čtverec 4 vůči čtverci 3. Ani strany čtverců pak nemají správnou velikost. Střed čar je nesprávný, jednotlivá protnutí jsou odchýlena až o



Obr. 7-6 Klička



Obr. 7-7 Zdvojení čar



Obr. 7-8 Posunutí čtverců

0,5 mm. Tento obrazec má velké chyby, které zřejmě nebudou způsobeny nepřesností robota, ale chybou měření. S největší pravděpodobností byl špatně upevněný papír na kreslicí plochu. Při kreslení se pak hrnul, a proto došlo k těmto chybám. Chyba effectoru byla v tomto případě vyloučena, protože se neprojevila na jiných obrazcích a to ani na obrazci 2.2, který byl malován ve stejné poloze.

Na obrazci 2.2 můžeme vidět jen malé zdvojení čar, maximálně 0,5 mm a jen na malých vzdálenostech. Délky čar a velikosti úhlů odpovídají. Na vrcholech čtverců jsou vidět malé kličky, které vznikly změnou směru pohybu robota.

Obrazec 3.1 má u čtverce 1 jednu stranu o 0,5 mm delší, než by měl mít. Průsečíky jsou v pořádku. Opět se vyskytují kličky u vrcholů čtverců.

Obrazec číslo 3.2 má podobné chyby jako obrazec 2.1 avšak v menší míře. Čtverec 2 je posunut níže o 2 mm vůči čtverci 1. Čtverec 3 a 4 jsou posunuty o 1,5 mm. I v tomto případě byla chyba přisouzena špatně napnutému papíru na kreslicí ploše.

Obrazce 4.1 a 4.2 jsou pak téměř totožné. Oba mají jen malé zdvojení čar, které je menší než 0,5 mm a vyskytuje se jen na začátku změny směru kreslení. Na čtverci 2 pak v případě 4.1 vznikla nepřesnost, že se robot nevrátil při kreslení do stejného bodu. Tyto dva body jsou od sebe vzdáleny 0,5 mm.

Když shrneme výsledky měření na robotu IRB 1400, tak zjistíme, že je poměrně přesný. Jediná oblast, ve které vzniká problém, je setrvačnost. Při změně směru o 90° vznikají u robota kličky. U opakovaného malování jednoho čtverce, avšak pokaždé v jiném směru, vzniká u změny směru o 90° odchylka, která se na obrazci projeví jako dvě čáry, které se po určité vzdálenosti (po odezvě setrvačnosti v předchozím směru) opět spojí. Po přiložení obrazců přes sebe, vyjmeme-li z tohoto zkoumání obrazce 2.1 a 3.2, můžeme vidět, že jsou tyto obrazce velice podobné.

7.4 IRB 140

IRB 140 je malý šestiosý robot od firmy ABB. Tento robot má užitečné zatížení do šesti kilogramů a dosah 810 mm. Také má všechna ramena kompletně v krytí IP67 a vyrábí se také ve třídě clean room, což tohoto robota dělá vhodným pomocníkem i do potravinového průmyslu. Jeho opakovatelnost je $\pm 0,03$ mm.

U robota IRB 140 bylo namalováno jen šest obrazců ve třech polohách a to proto, že bylo velice náročné najít oblast ve, které by robot takto veliký obrazec byl schopen namalovat, aniž by nenarazil na konec pracovní oblasti nebo mu neskončil rozsah některého z kloubů.

Robot IRB 140 se ukázal být velice přesným robotem. Všechny obrazce od něho kreslené jsou absolutně shodné.

U tohoto robota byla zkoumána přesnost střetu jednotlivých bodů, v čemž až na jediný případ vyhověl. Pouze u čtverce 2 byl problém s jedním vrcholem a to takový, že začátek malovaného čtverce a jeho konec se nespojili. Tato odchylka je však menší než jeden milimetr. U největšího čtverce se ve všech případech také projevilo jen malé zvlnění čar a tudíž i ke zdvojení čar, toto má pravděpodobně za následek setrvačnost pohybu. Tyto odchylky jsou opět menší než jeden milimetr. Setrvačnost také pravděpodobně zajistila, že největší čtverec má také lehce zakulacené rohy.

V dalších zkouškách robot IRB 140 vyhověl výborně. Týkalo se především o přeměření délek stran čtverců a jejich úhlopříček, Dále byly přeměřeny veškeré úhly v obrazci, které vyhověli předpokládaným velikostem.

Tento robot měl nastavenou menší rychlost pohybu a pravděpodobně proto se u něj neukázali kličky na vrcholech čtverců, jak v předchozím případě.

7.5 RX 160

Robot RX 160 je průmyslový robot, který má šest stupňů volnosti. Kulový pracovní prostor tohoto robota je velikou výhodou pro maximální využití robotických buněk. Tento robot má plně uzavřenou strukturu ramene s krytím IP65. Je tak vhodný do náročných prostředí. Tohoto robota je možné připevnit jak na podlahu, tak na strop. Jeho dosah činí 1,71 m a zatížitelnost je až 20 kg. Opakovatelnost robota je $\pm 0,05$ mm.

Na robotu RX 160 bylo naměřeno 8 obrazců ve čtyřech polohách. Výsledky měření pak byli uspokojivé.

Jen na třech obrazcích se projevilo zdvojení čar. Toto zdvojení bylo ve dvou případech menší než jeden milimetr a projevilo se maximálně na třech centimetrech délky, avšak v jednom případě bylo toto zdvojení významnější a bylo vidět na téměř celé délce jedné strany největšího čtverce. Velikost této odchylky je až jeden milimetr.

Další chyba, která se projevila pouze na jednom obrazci, jsou čáry připomínající sinusový průběh s malou amplitudou. Tuto chybu přikládám spíše než robotovy tomu, že byl nastaven jeden z bodů transformace souřadnic příliš blízko papíru a došlo k zaseknutí tuhy v těle tužky, pak byla tuha nakloněná a mohla způsobit tuto nepřesnost.

Tento robot vyšel z testování jako nejlepší v oblasti vrcholů čtverců. Jeho vrcholy jsou ostré, nejsou nijak zakulacené, jak to bylo v případě IRB 140 ani tam nejsou žádné překmity, jako v případě robota IRB 1400.

V ostatních testech, co se týče délek stran, velikostí úhlů... Byl robot velice přesný.

7.6 Zhodnocení výsledků měření

Měření bylo provedeno na třech robotech, kteří měli podobnou zatížitelnost, ale rozdílný dosah ramen. Pro účely malování a frézování vyhověly roboty IRB 140 a RX 160.

Robot IRB 140 měl sice odchylky, ale ty byly všechny menší, než 1 mm a hlavně se na všech obrazcích projeví stejně. Proto se naskýtá možnost tuto chybu eliminovat.

Robot RX 160 má výhodu v tom, že má veliký dosah, čímž se naskýtá možnost popisovat velké obrobky ve strojírenském průmyslu. Jeho odchylky byly vždy menší než jeden milimetr. Jeho největší předností je však naprosté dodržování trajektorie pohybu. Neprojevily se u něho žádné překmity a zakulacení v rozích čtverců. Nevýhodou však bylo velké zpomalení pohybu ve složitějších trajektoriích. Pak robotovy trvalo několik minut namalovat jeden obrazec, což je v průmyslu nemyslitelné.

Robot IRB 1400 měl velké chyby, které by v praktických aplikacích způsobovaly problémy. Měřením se sice tyto chyby zjistily, avšak nebylo prokázáno, zda jsou to chyby opravdu způsobeny robotem, nebo jestli se u tohoto modelu robota vyskytla chyba měření, která se u ostatních robotů neprojevila.

8 Závěr a diskuse

Závěr

Na počátku této bakalářské práce byl stanoven cíl zjistit, jestli bude možné pomocí průmyslových šestiosých robotů malovat nebo frézovat různé obrázky a nadpisy a také jestli bude toto kreslení možné v obecných polohách souřadného systému robota. Pro tento účel museli být změřeny absolutní nepřesnosti robotů a zhotoven program pro transformaci souřadnic.

Pro měření absolutních nepřesností byly navrženy tři varianty měření. Jako nejlepší varianta zvítězilo měření pomocí kreslení a to z důvodu možnosti sledování dráhy robota, snadné realizace a nenáročnosti na přístrojové vybavení.

Velikost nepřesnosti byla zkoumána na třech průmyslových šestiosých robotech při navádění do neznámých souřadnic. Dva roboty byly od firmy ABB a byl to robot IRB 140 a IRB 1400, které byly k dispozici v laboratoři robotiky AS15, a jeden robot byl od firmy STÄUBLI, model RX 160, který byl poskytnut na měření firmou EXACTEC.

Jako robot s nejmenšími odchylkami drah byl vyhodnocen robot IRB 140. Tento robot je však v porovnání s ostatními daleko menší a s menším pracovním prostorem. Proto bych doporučila také pro účely frézování použít robota RX 160, který má dosah 1,71 m a jeho přesnost je pro dané účely vyhovující.

Robot IRB 1400 byl shledán jako nejméně přesným robotem, který vlivem setrvačnosti má poměrně velké překmity. Jeho nepřesnost byla také u některých délek čar, a proto v několika případech pak neodpovídali ani velikosti úhlů.

Pro lepší porovnání jednotlivých robotů a výrobců by však bylo potřeba měřit roboty s podobnou zatížitelností a stejným dosahem. Dále by bylo potřeba, aby byly kresleny obrazce ve shodných polohách pro jednotlivé roboty. V neposlední řadě by mělo být veškeré měření prováděno za stálých teplotních podmínek.

Diskuse

Když jsem měřila na robotu IRB 1400, nabyla jsem dojmu, že navržená metoda má příliš velkou chybu měření. Dále jsem namalovala několik dalších obrazců stejným effectorem na jiných robotech a zjistila jsem, že tak velkou odchylku nemají. Proto jsem došla k závěru, že chyba naměřená na robotu IRB 1400 není způsobena chybou metody.

Nyní stojíme před otázkou: „Je robot IRB 1400 opravdu tak nepřesný, nebo nám někde vznikla chyba měření, která se na dalších dvou robotech neprojevila?“. Tento robot je velice starý. Na území školy dorazil jako vyřazený robot, který pro účely výuky plně vyhovuje. Nebyl však repasovaný a proto může mít nyní větší vůle v převodech, ale i tak si nejsem jistá, zda-li by ta chyba mohla být v řádech několika milimetrů.

Použitá literatura

[1]ABB [online] 12.5.2010 Dostupné z www:

<http://www.abb.com/product/seitp327/52ecda4e1ccd34ccc1257386004efafc.aspx>

[2]FANUC Robotics [online] 12.5.2010 Dostupné z www:

http://www.fanucrobotics.cz/cs/Products/A_Industrial-Robots/M-430iA/M-430iA%202PH.aspx

[3] EXACTEC [online] 12.5.2010 Dostupné z www:

<http://katana.exactec.com/index.php/katana/zakladni-informace>

[4]<http://www.abb.cz/cawp/czabb014/49db58a47c2d18d4c1257598004151b4.aspx?v=C82&leftdb=GLOBAL/CZABB/czabb014.NSF&e=cz&leftmi=cc70b0fdf470bdbcc1256a850029b508>

[5]ABB [online]. c2011 [cit. 2011-05-13]. IRB 6660 pro obsluhu lisů. Dostupné z WWW:

<<http://www.abb.com/product/seitp327/ed4b4c8bb7401aa3c1257460003152cd.aspx>>.

[6] *Mitsubishi Automation* [online]. c2011 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW:

<<http://www.mitsubishi-automation-cz.com/>>.

[7] *Motoman* [online]. c2010 [cit. 2011-05-13]. O společnosti. Dostupné z WWW:

<<http://www.motoman.cz/cs/o-spolecnosti/>>.

[8] *Motoman* [online]. c2011 [cit. 2011-05-13]. Motoman SDA10D Assembly Robot .

Dostupné z WWW: <<http://www.motoman.com/products/robots/models/SDA10D.php>>.

[9] *Fanuc robotics* [online]. c2009 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW:

<<http://www.fanucrobotics.cz/cs/Countries/FRCZ/FANUC-Robotics-XX.aspx>>.

[10] *Kuka robotics* [online]. c2011 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW:

<http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/>.

[11] *Staubli* [online]. c2007 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW:

<<http://www.staubli.com/en/robotics/>>.

[12] *Kawasaki robotics* [online]. c2010 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW:

<<http://www.kawasakirobotics.com/>>.

[13] *Edumat* [online]. c2008 [cit. 2011-05-13]. Roboty manipulátory. Dostupné z WWW:

<http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf>.

[14] *Qtest* [online]. c2009 [cit. 2011-05-13]. Laserové dálkoměry. Dostupné z WWW:

<<http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/laserove-dalkomery.htm>>.

- [15] *Qtest* [online]. c2009 [cit. 2011-05-13]. Porovnání laserových a ultrazvukových dálkoměrů. Dostupné z WWW: <<http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/porovnani-laser-ultrazvuk.htm>>.
- [16] *Qtest* [online]. c2009 [cit. 2011-05-13]. Ultrazvukové dálkoměry. Dostupné z WWW: <<http://www.qtest.cz/ultrazvukove-dalkomery/ultrazvukove-dalkomery.htm>>.
- [17] *Matescb .skvorsmalt* [online]. 1.10.2002 [cit. 2011-05-13]. VUT_Brno_Robotika. Dostupné z WWW: <http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf>.

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Robot IRB 6660	11
Obr. 2-2 Robot RV-2SDB	12
Obr. 2-3 Robot SDA10D	12
Obr. 2-4 LR Mate 200iC	13
Obr. 2-5 Robot KATANA	13
Obr. 2-6 Robot KR 6-2	14
Obr. 2-7 Robot TX90	14
Obr. 2-8 Robot FS06N	15
Obr. 3-1 Kartézský souřadný systém	16
Obr. 3-2 Cylindrický souřadný systém	17
Obr. 3-3 Sférický souřadný systém	17
Obr. 3-4 Angulární souřadný systém	17
Obr. 3-5 Princip konstrukce hexapodu	18
Obr. 6-1 Znázornění natáčení pomocí transformace ZXZ	23
Obr. 6-2 Znázornění kladného směru osy y	25
Obr. 7-1 Model effectoru	27
Obr. 7-2 Výkres effectoru	28
Obr. 7-3 Kreslící robot	28
Obr. 7-4 Schéma datových toků	29
Obr. 7-5 Znázornění obrazce	29
Obr. 7-6 Klička	30
Obr. 7-7 Zdvojení čar	30
Obr. 7-8 Posunutí čtverců	30

Zdroje obrázků

Obr. 3.1 <http://www.abb.cz/product/seitp327/c7b5bce646d41f74c12574030033e34f.aspx>

Obr. 3.2 <http://www.mitsubishi-automation-cz.com/products.html>

Obr. 3.3 <http://www.motoman.com/products/robots/models/SDA10D.php>

Obr. 3.4 <http://www.fanucrobotics.com/file-repository/DataSheets/Robots/LR-Mate-200iC-Series-&-R-30iA-Mate-Controller.pdf>

Obr. 3.5 <http://katana.exactec.com/index.php/katana/zakladni-informace>

Obr. 3.6 [http://www.kuka-](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/low/kr6_2/start.htm)

[robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/low/kr6_2/start.htm](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/low/kr6_2/start.htm)

Obr. 3.7 <http://www.staubli.com/en/robotics/products/6-axis-scara-industrial-robot/medium-payload-6-axis-robot/6-axis-industrial-robot-tx90/>

Obr. 3.8 <http://www.kawasakirobotics.com/swf/productSelectorSpecs/FS06N.pdf>

Obr. 4.1 http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

Obr. 4.2 http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

Obr. 4.3 http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

Obr. 4.4 http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

Obr. 4.5

[http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/12_Paralelne_Kinematicke_Struktury_Vyrobnych_Stroju](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/12_Paralelne_Kinematicke_Struktury_Vyrobnych_Stroju_v.pdf)
[v.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/12_Paralelne_Kinematicke_Struktury_Vyrobnych_Stroju_v.pdf)